

Dortmunder Beiträge zur Kommunikationstechnik

Band 9

**Stefan Neuhaus**

**High Efficiency LDPC Coded Modulation**

D 290 (Diss. Technische Universität Dortmund)

Shaker Verlag  
Aachen 2014

**Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek**

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Zugl.: Dortmund, Technische Univ., Diss., 2013

Copyright Shaker Verlag 2014

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-2551-4

ISSN 1863-9054

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • e-mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Abstract

The combination of low-density parity-check (LDPC) codes and higher-order modulation represents one of the most powerful digital transmission schemes for bandwidth-limited channels. Information transmission close to fundamental limits is enabled in this way. However, this only holds for large block lengths resulting in high latency as well as high complexity.

Therefore, this thesis is dedicated to high efficiency LDPC coded modulation schemes that require a small number of channel uses to transmit a possibly large amount of information. For this, short LDPC codes with block lengths in the order of  $10^2 - 10^3$  bits and higher-order modulation are considered.

First, bit-interleaved coded modulation (BICM) deploying (binary) irregular LDPC codes is discussed as one of the most common state-of-the-art transmission schemes for bandwidth-limited channels. A tool based on extrinsic information transfer (EXIT) functions is extended to analyze the combination of LDPC codes and higher-order modulation. Based on this, optimized interleavers are derived which efficiently adapt the unequal error protection features in both LDPC coding and modulation. In contrast to previous work in this field, an improved performance is achieved also for short codes.

Next, symbol-based coded modulation is introduced which combines non-binary LDPC codes and higher-order modulation. Non-binary LDPC codes can be constructed with short block lengths and good performance. Moreover, the size of the finite extension field can directly be matched to the applied modulation order. By means of symbol-based mapping and demapping significant performance gains can be achieved. Furthermore, partial symbol mapping is introduced to reduce the overall complexity while retaining much of the good performance.

Finally, a comprehensive evaluation of competitive approaches to LDPC coded modulation for practical block lengths is conducted. It is shown that by deploying optimized interleavers for the combination of BICM or BICM-ID with LDPC codes, we achieve performance gains that are otherwise only obtained by more complex approaches: In a BICM setup an optimized interleaver can obviate the need for additional outer iterations performed between decoder and demapper, i.e. BICM-ID. Furthermore, it can also render constellation shaping unnecessary. Moreover, performance gains due to non-binary LDPC codes can be attained by introducing optimized interleavers.

## Kurzfassung

Die Verknüpfung von Low-Density Parity-Check-Codes (LDPC-Codes) mit mehrstufigen Modulationsverfahren gehört zu den leistungsfähigsten digitalen Übertragungsverfahren in bandbegrenzten Kanälen. Bei sehr großen Blocklängen ist so eine Übertragung nahe theoretischer Grenzen möglich, was aber von einer hohen Latenz und Komplexität begleitet wird.

Die vorliegende Arbeit widmet sich daher der hocheffizienten LDPC-codierten Modulation. Diese ist dadurch gekennzeichnet, dass bei einer geringen Anzahl von Kanalbenutzungen eine möglichst große Informationsmenge übertragen wird. Dazu werden insbesondere kurze LDPC-Codes mit Blocklängen in der Größenordnung von  $10^2 - 10^3$  Bits sowie hochstufige Modulationsverfahren herangezogen.

Zunächst wird Bit-Interleaved Coded Modulation (BICM) mit (binären) LDPC-Codes betrachtet. Ein Analysewerkzeug basierend auf Übertragungsfunktionen für extrinsische Information wird erweitert, um die Verknüpfung von LDPC-Codes mit mehrstufigen Modulationsverfahren zu erfassen und um damit optimierte Interleaver zu ermitteln, die eine effiziente Anpassung des ungleichen Fehlerschutzes in LDPC-Codes an die unterschiedlichen Zuverlässigkeitsstufen bei mehrstufiger Modulation ermöglichen. Im Gegensatz zu existierenden Verfahren wird so eine verbesserte Leistungsfähigkeit auch bei kurzen Codes ermöglicht.

Im nächsten Schritt werden nicht-binäre LDPC-Codes mit mehrstufigen Modulationsverfahren verknüpft. Nicht-binäre LDPC-Codes versprechen auch bei verhältnismäßig kurzen Blocklängen eine gute Leistungsfähigkeit. Die Größe des verwendeten Galois-Feldes kann dabei direkt an die Modulationsordnung angepasst werden. Mithilfe von Symbol-Mapping und -Demapping können deutliche Gewinne erzielt werden. Zusätzlich ermöglicht das vorgestellte partielle Symbol-Mapping, die Größe des Galois-Feldes und damit die Komplexität zu reduzieren und dennoch vom Symbol-Ansatz zu profitieren.

Abschließend werden verschiedene Ansätze für die LDPC-codierte Modulation mit kurzen Blocklängen untersucht. Es kann gezeigt werden, dass durch das Einbringen optimierter Interleaver in BICM-Systeme mit LDPC-Codes Gewinne erzielt werden können, die sonst nur durch komplexere Ansätze möglich sind: Ein optimierter Interleaver in einem BICM-System kann zusätzliche äußere Iterationen zwischen Demapper und Kanaldecoder oder aber das Shaping von Signalraumkonstellationen unnötig machen. Auch die durch den Einsatz von nicht-binären LDPC-Codes erzielbaren Gewinne können durch einen optimierten Interleaver erreicht werden.